

УДК 634.0.5:582.475.2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ В СВЯЗИ С ТЕХНОГЕННЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

И. Е. АВТУХОВИЧ, Ж. Р. ГОБРАН¹

(Кафедра лесоводства и охраны природы)

Работа посвящена изучению основных химических характеристик почвы (pH_{KCl} , N, P и K) под сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*), лиственницей сибирской (*Larix sibirica*) и березой повислой (*Betula pendula*), произрастающих на Лесной опытной даче МСХА на расстояниях 5 и 50 м от источника загрязнения — автодороги. В качестве почвенных составляющих рассматриваются: почвенно-корневая поверхность (ПКП-), ризо — (P-) и общая масса почвы (ОМП-) — почва, находящаяся вне корневой системы. Установлено, что pH_{KCl} в указанных почвенных составляющих изменяется в следующем порядке: ПКП- < P- < ОМП — для обоих расстояний от источника загрязнения и для всех исследуемых древесных пород, при этом на расстоянии 5 м от дороги показатель выше. Последовательность увеличения концентраций азота (NH_4^+) и калия (K^+) в почвенных составляющих была следующей: ОМП- < P- < ПКП — на всех удалениях от источника загрязнения и для всех исследованных древесных пород. Наличие самых высоких концентраций этих элементов имело место на расстоянии 5 м от источника загрязнения. Последовательность изменения концентраций доступного фосфора в компонентах почвы была следующей: ПКП- < P- < ОМП-, а общего, неорганического и органического: ОМП- < P- < ПКП- на всех расстояниях от источника загрязнения и для всех древесных пород.

¹ Ж. Р. Гобран — профессор кафедры экологии и исследования окружающей среды Шведского сельскохозяйственного университета г. Уппсала. Спонсор проведенных исследований — «Шведский институт».

Для защиты окружающей среды и нейтрализации поллютантов широко используются биологические методы. При детоксикации загрязненных почв большой интерес представляет зарубежный метод использования непищевых растений, так называемое «фитообезвреживание» [12, 16]. При этом ризосфера растений играет ключевую роль в контроле загрязнения почвы токсическими концентрациями химических элементов [3].

Для понимания почвенно-корневого взаимодействия и выявления роли ризосферы в процессе изменения почвы необходим комплексный подход к изучению почвенных составляющих: ОМП-, Р-, ПКП-, одним из основных элементов которого является общий химический анализ этих компонентов. В связи с изложенным перед нами стояла задача изучить особенности почвенной реакции pH_{KCl} и содержание макроэлементов NPK в почвенных составляющих (ОМП-, Р-, ПКП-), а также выявить закономерности изменения этих показателей в зависимости от числа и распространения корней в почве, вида древесных пород и их удаления от источника загрязнения (5 м и 50 м).

Методика

Объектами наших исследований были 3 вида светолю-

бивых древесных пород: лиственница сибирская (*Larix sibirica*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), береза повислая (*Betula pendula*), произрастающие на Лесной опытной даче (ЛОД) Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева на расстояниях 5 и 50 м от источника загрязнения — автодороги. Под этими древесными растениями были взяты пробы почвы по краю лесного массива (на расстоянии 5 м) и в его глубине (на расстоянии 50 м).

Выбор указанных древесных растений обусловлен прежде всего относительным единообразием условий их произрастания (они произрастают вдоль одного и того же источника загрязнения — автодороги), однородностью деревьев (70-80 лет), наличием собственной пробной площади для каждой древесной породы и относительной чистотой их посадок. Значительная роль данных древесных пород в отношении биодетоксикации известна [4]. При этом ряд исследователей отмечают, что береза является гипераккумулятором таких элементов, как Pb, Mn, Fe, Zn и Си [2].

Отбор и разделение почвенных образцов на отдельные почвенные составляющие (ОМП-, Р-, ПКП-) проводили по зарубежной методике Г. Гобрана [12], хими-

ческий анализ почвенных образцов — по общеизвестным отечественным методикам, а также с использованием иностранных [9]. Доступный азот определяли по методике Тюрина и Кононовой в формах: NH_4^+ , NO_3^- и частично в органической форме.

Результаты

Была выявлена следующая последовательность повышения величины $\text{pH}_{\text{КС1}}$ в почвенных составляющих ПКП- < Р- < ОМП- для всех исследуемых древесных растений на расстоянии 5 и 50 м от источника загрязнения (рис. 1), что можно объяс-

нить высоким содержанием в ПКП- и Р- кислотных эксудатов (низкомолекулярных кислот, аминокислот, фенольных кислот и др.), реализуемых в ризосферу корнями и микроорганизмами, а также значительным вкладом от выделения катиона водорода H^+ в результате поглощения питательных веществ корнями растений [10, 12, 13].

Увеличение числа корней в почве положительно коррелирует с повышением кислотности — «ризосферное влияние». Так, по данным [1], большее число тонких корней отмечено у сосны по сравнению с березой, что обеспечивает преимущество

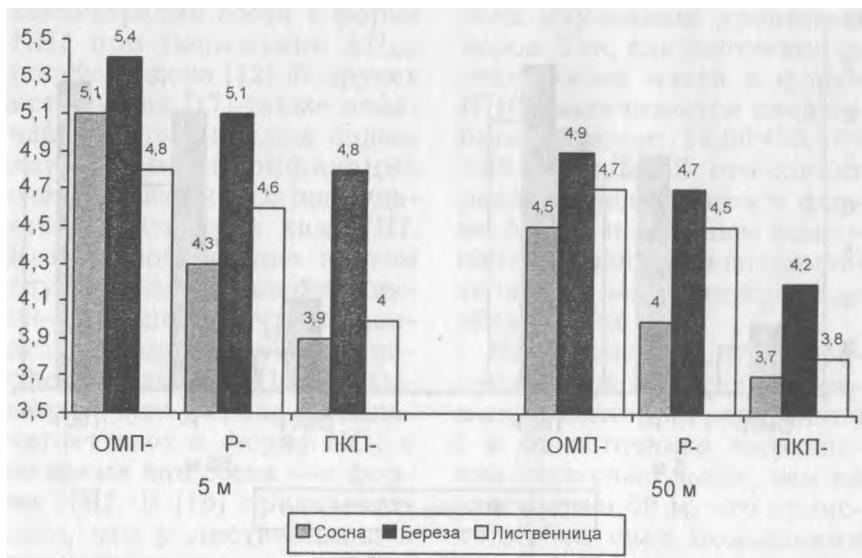


Рис. 1. $\text{pH}_{\text{КС1}}$ в ОМП-, Р- и ПКП- для сосны, березы и лиственницы на расстоянии 5 и 50 м от источника загрязнения на ЛОД ТСХА

в производстве и выделении кислот данной древесной породой. Следствием этого является более низкая величина $pH_{КС1}$ под сосной (3,7-5,1), чем под березой (4,2-5,4). В работе [5] также отмечена связь между величиной pH и развитием корней. В частности, указывается, что в почвах с pH 3,5 тонкие корни и длиннее и развиваются лучше, чем в почвах с pH 6,5. Более высокая кислотность почвы под сосной по сравнению с лиственницей и березой может быть также объяснена более кислой реакцией опада хвои сосны в связи с ее биологическими особенностями.

Наши исследования позволили выявить, что кислотность почвы под всеми древесными породами на расстоянии 5 м от источника загрязнения ниже, чем на расстоянии 50 м. Это связано с влиянием противогололедных солей (КС1), имеющих щелочную реакцию [3].

Концентрация доступного азота повышалась с повышением содержания катионов водорода H^+ (рис. 2) в следующей последовательности: ОМП- < Р- < ПКП-. На основании этого результата было сделано предположение, что в почвах объектов исследований азот преобладает в форме NH_4^+ . По мнению [8],

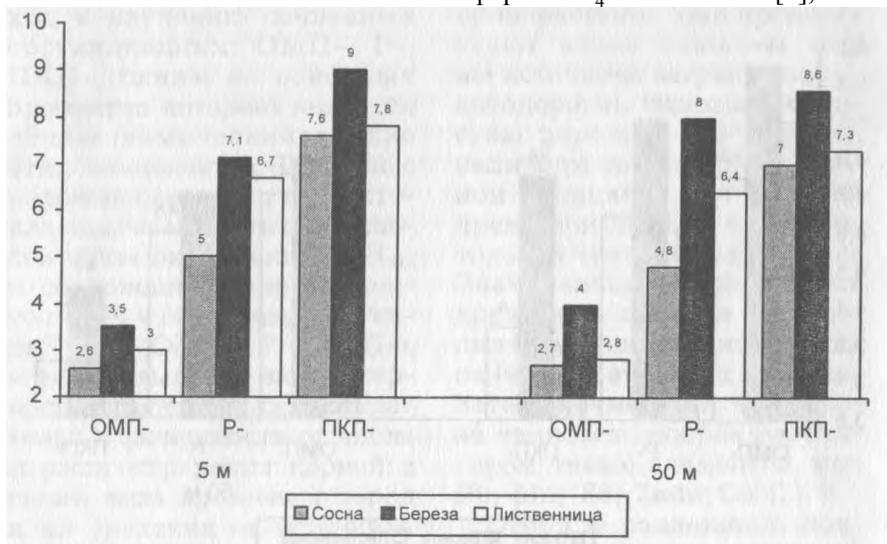


Рис. 2. Легкогидролизуемый N в мг/100 г воздушно-сухой почвы (по Тюрину и Кононовой) для ОМП-, Р- и ПКП-почвенных составляющих под сосной, березой и лиственницей на расстояниях от источника загрязнения (автодороги) 5 и 50 м на ЛОД ТСХА

в кислых почвах темпы нитрификации являются очень низкими, и следовательно, азот поглощается в форме NH_4^+ . В данном случае поглощение катионов будет преобладать над поглощением анионов, что должно выражаться в последовательном выделении катионов водорода H^+ и в понижении pH в ризосфере по сравнению с общей массой почвы. Отметим, что кислые почвы типичны для г. Москвы и Подмосковья. Обогащение почвы ризосферы азотом также связано с высоким влиянием органических кислот, таких как аминокислоты, реализуемых корнями [12]. Повышение концентраций азота в форме NH_4^+ при понижении pH_{KCL} подтверждено [12]. В других источниках [17] также отмечается, что в кислых подзолах норма нитрификации очень низкая и азот поглощается в основном как NH_4^+ . Катион-поглощение в этом случае будет подавлять анион-поглощение, что приведет к подкислению ризосферы. Однако в [11] указывается, что береза предпочитает азот в форме NO_3^- в то время как сосна — в форме NH_4^+ . В [15] предполагается, что у лиственницы и сосны поглощение азота в аммонийной форме значительно выше, чем в нитратной форме, и, кроме того,

лиственница по сравнению с сосной имеет более развитую транспортную систему и следовательно, более высокие темпы поглощения азота. Такие результаты, по мнению автора, также связаны с более высокой активностью нитратредуктазы в корнях.

Детальное изучение содержания азота в формах NH_4^+ и NO_3^- и распределения его по почвенным компонентам позволяет подтвердить гипотезу о том, что азот преобладает в данной почве в форме NH_4^+ и содержание его увеличивается от ОМП- по направлению к ПКП- (ОМП- $< \text{P} < \text{-ПКП}$). Эта закономерность сохраняется для всех изучаемых древесных пород. Так, для лиственницы содержание азота в форме NH_4^+ увеличивается следующим образом: $14,00 < 35,50 < 58,40$ мг/кг. В отношении распределения азота в форме NO_3^- по почвенным компонентам в данном эксперименте четкой закономерности не обнаружено.

Нами отмечено, что накопление азота в почвах изучаемых объектов на расстоянии 5 м от источника загрязнения несколько выше, чем на расстоянии 50 м, что происходит за счет повышения содержания азота в NO_3^- форме. Данное увеличение концентрации NO_3^- совпадает с подщелачиванием почвы

вблизи автодороги и может быть вызвано транспортными эмиссиями оксидов азота.

По данным наших исследований, содержание доступного фосфора уменьшается с понижением величины pH_{KCl} в следующей последовательности: ОМП- < Р- < ПКП- (рис. 3). Однако это противоречит результатам, представленным в работе [12]. Эти противоречия могут быть объяснены различными методиками и условиями проведения эксперимента. Отметим, что в почвах объектов наших исследований содержание фосфора довольно низкое по сравне-

нию с почвами древесных растений в других регионах г. Москвы, т. е. фосфор является лимитирующим фактором, следовательно, изучаемые нами древесные растения, очевидно, пытаются компенсировать этот недостаток путем поглощения фосфора из почвы. Наибольшее количество корней находится в ПКП- и Р- и за счет этого в данных почвенных составляющих процесс поглощения доступного фосфора идет значительно интенсивнее, чем в ОМП-. Последнее может послужить объяснением меньшего содержания доступного фосфора в ПКП- и Р- по срав-

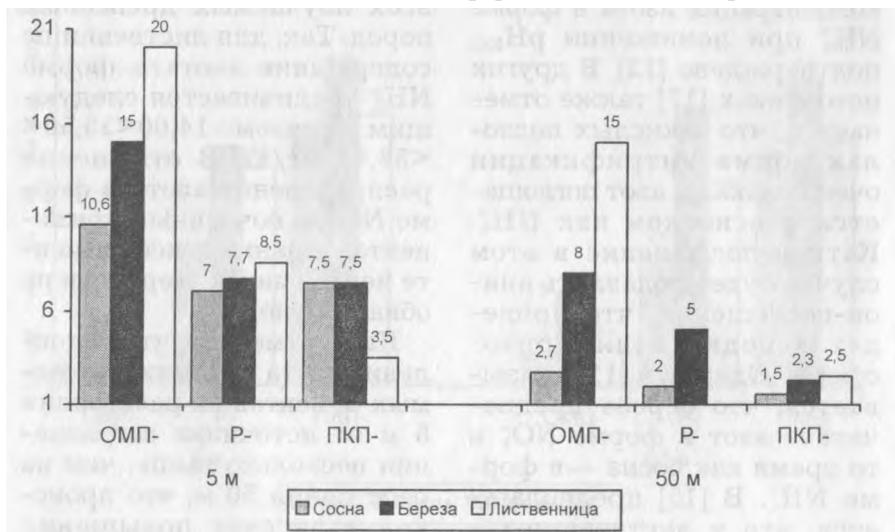


Рис. 3. Доступный фосфор P_2O_6 в мг/100 г воздушно-сухой почвы (по Курсанову) для ОМП-, Р- и ПКП- под сосной, березой и лиственницей на расстояниях от источника загрязнения (автодороги) 5 и 50 м на ЛОД ТСХА

нению с ОМП-. Кроме того, противоречивость результатов исследований, может быть объяснена тем, что использовались разные химические экстрагенты. В частности, мы использовали 0,2 HCl. Эта вытяжка является более слабой, чем использованная другими исследователями, и способна извлекать из почвы только доступные формы фосфора. Растворяющая способность данной вытяжки по силе равна корневым выделениям.

Данная последовательность уменьшения концентраций доступного фосфора (ОМП->P->ПКП-) также объясняется изменениями в реакции почвы. Так, pH_{KCl} в почвах объектов наших исследований, увеличивается от ПКП- до ОМП- с 3,7 до 5,0 (рис. 1), а согласно [20], в этом интервале pH_{KCl} фосфор представлен как $H_2PO_4^-$ и его содержание повышается по направлению от 3,7 до 5,0, следовательно, от ПКП- до ОМП-. Поскольку береза и лиственница сменяют листву каждый сезон и обогащение фосфором идет более интенсивно, это, вероятно, является причиной более низких концентраций доступного фосфора под сосной по сравнению с этими древесными породами.

В результате расширенного анализа распределения

фосфора по различным фракциям (фосфор общий ($P_{общ}$), фосфор неорганический ($P_{неорг}$), фосфор органический ($P_{орг}$)) и почвенным компонентам (ОМП-, P-, ПКП-) для всех изучаемых древесных пород нами была выявлена закономерность повышения содержания фосфора, согласующаяся с данными [9]. Так, для березы содержание $P_{общ}$ увеличивалось от ОМП- по направлению к ПКП-: $90,00 < 370,1 < 383,3$ мг/кг, $P_{орг}$ — $40,50 < 314,50 < 318,50$, $P_{неорг}$ — $49,50 < 55,60 < 64,8$ мг/кг воздушно-сухой почвы. Аналогичная последовательность в увеличении концентраций фосфора наблюдается для всех изучаемых нами древесных пород. Наиболее высокое содержание фосфора ($P_{общ}$, $P_{неорг}$ и $P_{орг}$) в почвенных компонентах ПКП- и обусловлено высоким содержанием органического материала [9].

В условиях более высокого загрязнения (расстояние от дороги 5 м) содержание фосфора оказалось выше, чем на расстоянии 50 м, что, возможно, явилось результатом антропогенных эмиссий.

Согласно данным наших исследований (рис. 4), содержание доступного калия выше на расстоянии 5 м от источника загрязнения, что, вероятно, связано с влиянием красноокрашенных проти-

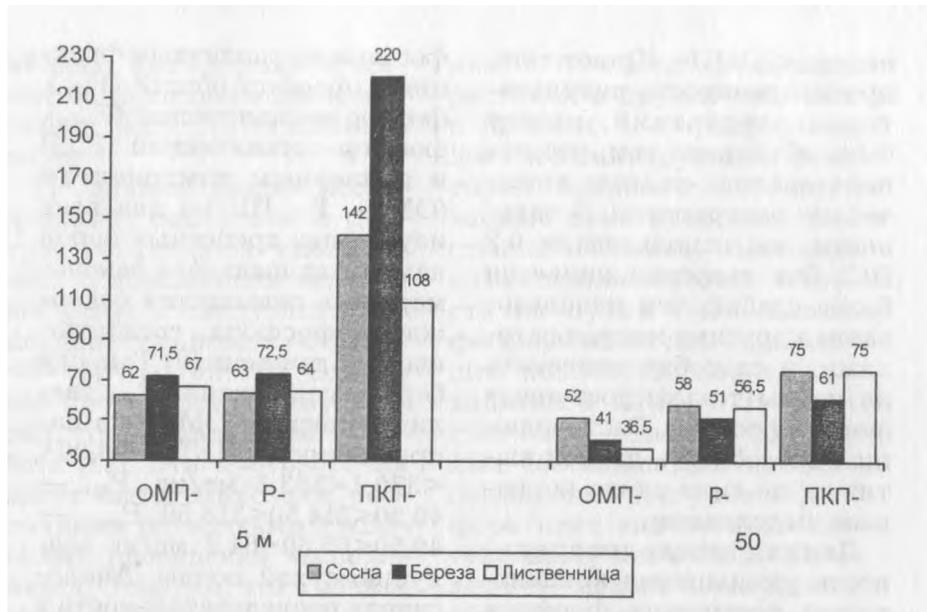


Рис. 4. Доступный калий K_2O в мг/100 г воздушно-сухой почвы (по *Кирсанову*) для ОМП-, Р- и ПКП- под сосной, березой и лиственницей на расстояниях от источника загрязнения (автодороги) 5 и 50 м на ЛОД ТСХА

вогледных солей (KCl), рассыпаемых по дорогам Москвы [3] и, в частности, вдоль объектов наших исследований. Концентрация калия в почвенных компонентах повышается от ОМП- по направлению к ПКП-: $ОМП- < Р- < ПКП-$, что связано с повышенными концентрациями катионов водорода H^+ в ПКП-и Р-. Повышенная кислотность создает более коррозионные условия для почвенных минералов (мусковит, биотит, каолинит, флогопит (иллит)) и ведет к последовательному высвобождению доступного калия [12].

Высокое содержание катионов калия K^+ при наличии повышенных концентраций катионов водорода H^+ в ПКП- и Р- согласуется с «Концептуальной моделью Ж. Гобрана» [12] и объясняется конкуренцией между катионами H^+ и K^+ , приводящей к вытеснению калия в почвенный раствор.

Нами была выявлена интересная закономерность в концентрировании калия в почве под березой на расстоянии 50 м от источника загрязнения (рис. 4). Так, содержание калия под березой на этом расстоянии самое низкое по

сравнению с другими изучаемыми древесными породами (41-61 мг/100 г почвы), что, вероятно, может быть объяснено более высоким значением pH_{KCl} под этой древесной породой. Это также может быть объяснено разницей корневых систем трех изучаемых древесных пород. По данным [18, 11], *Pinus sylvestris* и *Larix* имеют более глубокую корневую систему, способную проникать в более глубокие слои почвы и извлекать оттуда необходимые питательные элементы. Таким образом, корни сосны и лиственницы действуют как насос, откачивая из более глубоких слоев основные катионы, такие как K^+ , в то время как у березы неглубокая корневая система и поэтому поиск питательных веществ осуществляется ею только в верхних слоях почвы [11]. Наименьшее содержание калия под березой также может быть связано с тем фактором, что она меняет листву каждый сезон и имеет более высокую массу опада, следовательно, береза более требовательна к питательным веществам (K, P, Ca и т. д.) и в больших количествах поглощает их из почвы. В работе [6] отмечается, что по этой причине береза потребляет калия больше, чем ель. Однако на

расстоянии 5 м от источника загрязнения, где концентрация калия выше вследствие влияния противогололедных солей, чем на расстоянии 50 м, содержание калия в почве под березой выше при более высоких значениях pH_{KCl} . по сравнению с другими изучаемыми древесными породами (71,5-220). Этот факт, вероятно, можно объяснить неравномерным распределением соли KCl вдоль дороги и, следовательно, вдоль объектов исследований. По нашему предположению, на уровне пробной площади, где произрастает береза, ежегодно рассыпалось больше солей, чем на уровне других изучаемых пробных площадей, результатом чего явилось перенасыщение почвы калием. Корни березы не в состоянии поглотить слишком высокое количество калия и аккумулируют этот элемент в ПКП- и P-, где кислотность (концентрация H^+) выше, чем в ОМП-.

Выводы

1. Количество тонких корней коррелирует с повышением почвенной кислотности, обусловленной наличием в почве H^+ (понижением pH_{KCl}). Последовательность повышения pH_{KCl} в почвенных составляющих следующая: ПКП-<P-<ОМП- для обоих

изучаемых расстояний от источника загрязнения и всех исследуемых древесных пород. На расстоянии 5 м от дороги pH_{KCl} выше, чем на расстоянии 50 м.

2. Последовательность увеличения содержания в почвенных составляющих азота, предположительно в форме NH_4^+ , а также калия K^+ следующая: ОМП- $<P-<$

$<ПКП-$ на всех удалениях от источника загрязнения и для всех древесных пород. Наивысшие концентрации этих элементов зарегистрированы на расстоянии 5 м от дороги.

3. Последовательность повышения содержания доступного фосфора в почвенных составляющих следующая: $ПКП-<P-<ОМП-$, в то время как для $P_{общ}$, $P_{неорг}$ и $P_{орг}$ наблюдается противоположная последовательность: $ОМП-<P-<ПКП-$ на всех дистанциях от источника загрязнения и для всех изучаемых древесных пород. Выявлено, что на расстоянии 5 м от источника загрязнения концентрации этого элемента наивысшие. В почвах объектов исследований отмечено довольно низкое содержание фосфора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочарян К.С. Докт. дисс. М.: МСХА, 2000. - 2. Табурин А.Д., Матвеева Ж.В.

Бота.; ика. М.: Агропромиздат, 1989, с. 12-40. - 3. Экология большого города - Альманах. М.: Прима-Пресс, 1998. — 4. *Alriksson, A. and Eriksson H.M.* — *Forest Ecology and Management, Uppsala*, 1998 p.262-273. — 5. *Arduini I., et al.* *Plant-Biosystems*, 1998, vol. 132 (1), p.3-9. - 6. *Binkley D.* *Forest nutrition management.* New York, 1986. - 7. *Brandenberg P.O.* Ph.D. Thesis, Uppsala, 2001, p.30-54. - 8. *Clemensson-Lindell A.* Ph.D. Thesis. Uppsala, 1994, p. 12-14.-9. *Clegg S., Gobran G. R.* - *Can. J. Soil Sci.*, 1996, vol. 76, p. 525-533. - 10. *Courchesne, F., V. et al.* - Trace elements in the rhizosphere. CRC Press, 2000, 320 p. 189-203. - 11. *Cui-Xiyang - Yingyong-ShengtaiXuebao*, vol. 9(2), 1998, p.123-127. - 12. *Gobran, G.R. and S. Clegg* — *Can.J. Soil Sci.*, 1996, vol. 76, p.125-131. - 13. *Gobran, G.R. et al.* ~ Trace elements in the rhizosphere. CRC Press, 2000, p. 1-2. - 14. *Greger, M* — *Proceeding of 5thInternational Conference on Biogeochemistry of Trace Elements, Vien, Ausstria*, 1999, p.872-873. — 15. *Malagoli M., A. et al.* - *Agropolis*, 2000, vol. 221 (1), p.1-3. - 16. *McGrath, S.P., F. Zhao and S.J. Dunham* - *Proceeding of 5thInternational Conference on Biogeochemistry of Trace Elements, Wienn, Austria*, 1999,

- p.10-11. - 17. Nye P.H. - Tributh, H.,E et al. - Soil Sci.,
 Advances in plant nutrition, vol. 143, 1987, p. 404-409. -
 1986, vol.2 (4), p. 129-152. - 20. Wilard L., Lindsay
 18. Person, H. - Plant Roots, Chemical equilibria in soils. -
 New York, Basel, Hong Kong, Wiley-inter science publica-
 2000, vol.II, p.191-193. - 19. tion, 1979, p. 163-209.

Статья поступила
 2003 г.

SUMMARY

This work was dedicated to the study and comparison of the main chemical characteristics of the soil such as: pH_{KCl} , N, P and K under Pine tree (*Pinus sylvestris*), Larch tree (*Larix sibirica*) and Birch tree (*Betula pendula*) at two distances from the source of pollution (5 m and 50 m), in three soil components: SRI-, Rhizo- and Bulk-. On the basis of conducted research was established that consequence of pH_{KCl} increasing in the soil is Bulk->Rhizo->SRI- for both distances from the source of pollution and for all tree species examined. The pH_{KCl} is higher at the distance 5 m from the road. The consequence of increasing of nitrogen's (NH_4^+) and potassium's (K^+) concentrations in soil components is: Bulk-<Rhizo-<SRI- for both distances from the source of pollution and for all tree species examined. The highest concentrations of these elements are present at distance 5 m from the source of pollution. In our experiment the consequence of available phosphorous concentrations in soil components is: Bulk->Rhizo->SRI- and in the same time consequence of Pt, Pi, Po is: Bulk-<<Rhizo-<SRI- for both distances from the source of pollution and for all tree species examined.